

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月20日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21740205

研究課題名（和文） 基準偏光源の開発と受信機最適化による原始重力波起源の CMB 偏光成分の探索研究

研究課題名（英文） Development of Laboratory Calibration System for CMB Polarization Detectors, and Search for CMB Polarization Components Originated from Primordial Gravitational Waves.

研究代表者

長谷川 雅也 (Hasegawa Masaya)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教

研究者番号：60435617

研究成果の概要（和文）：本研究は、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)偏光観測に用いる観測機器の性能評価を実験室で行うための基準偏光源の開発と QUIET 実験による原始重力波起源の CMB 偏光成分の探索を目的に行った。基準偏光源の開発では、機械式冷凍機と輻射源を一体化して、実際の観測サイトの輻射環境を再現し、かつ偏光強度及び方向が精度よく制御された偏光源の開発に世界で初めて成功した。また、QUIET 実験で取得した 43GHz 帯域のデータを用いて原始重力波起源の B モード探索を行い B モードの偏光強度に関して世界最高レベルの上限値を与えた( $r < 2.2$  95%CL)。

研究成果の概要（英文）：The main goals of this study are development of laboratory calibration system for Cosmic Microwave Background (CMB) polarization detectors, and search for the CMB polarization pattern originated from the primordial gravitational waves (B-modes) by QUIET experiment.

We successfully developed a novel calibration system with cryogenically-cooled loads, which provides in the laboratory a load condition similar to the actual observation, and we showed this system can generate polarized signals whose amplitude and angle are well controlled. We search for the B-modes with QUIET 43GHz data, and set an upper limit on the amplitude of  $r < 2.2$  at 95% C.L. This is one of the stringent limit to date.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：宇宙物理、宇宙線、素粒子実験

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙背景放射、インフレーション、原始重力波、偏光、検出器較正

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙背景放射(CMB)観測は1964年の発見以来、宇宙の誕生と進化の謎について我々に多くの知見をもたらし、WMAPによる温度揺らぎの精密測定を経て、現在我々はその標準的なモ

デルを確立するに至った。WMAP以降のCMB研究の展開として、Bモード偏光と呼ばれる特殊な偏光パターンの検出が期待されている。これはインフレーションにより生成される原始重力波によってCMBに残される偏光パタ

ーンであり、晴れ上がり以前の宇宙を見るベストプローブとして、世界中でその検出を目指したプロジェクトが精力的に計画・推進されている。ただし、このBモード偏光の偏光強度は非常に小さく(WMAPで観測された温度揺らぎの少なくとも2桁以上小さい)、現行実験より2桁多い、多数の(1000以上)検出器を用いた観測が必要となる。それらを実験室で如何に精度よく校正・最適化できるかが今後の実験の成功の鍵となる。

通常実験室に於いては、CMBを模擬した黒体輻射を生成する為の冷媒として液体窒素が用いられる。しかし、液体窒素の温度(77K)は大気の輻射温度(~10K)と比べて非常に高い為、実際の観測での輻射環境と同じ条件で検出器の校正を行うことが非常に困難であった。輻射環境が異なると検出器を動作させるバイアス電圧・電流等のパラメータの値も大きく変わるため、従来実験では科学観測を開始してから、バイアス値の調整や検出器性能の評価を行っていた。しかし、次世代実験に於いて1000以上の検出器の調整を観測場所で行う事は現実的でなく(検出器の種類によっては1年以上かかる事が予想される)、また検出器の性能を元にした観測計画(スキャンスピード、観測する空の領域の大きさ)は、観測装置を設置する望遠鏡の仕様とも関係して、一度観測を開始すると変更する事が容易で無いため、予め実験室にて決定しておくことが必須となる。その為、実験室で観測環境を再現できる校正システムの実用が長く望まれていた。本研究の主たる目的の一つはこの校正システムを開発する事である。

## 2. 研究の目的

本研究では、宇宙背景放射(CMB)偏光観測に用いる観測機器の精密校正のための基準偏光源の開発と、QUIET実験による原始重力波起源のCMB偏光成分の精密探索を目的としている。開発する基準偏光源は、観測サイト(チリ・南極)の輻射環境を再現して、実際の観測環境と同じ状況下で検出器の校正・調整が可能になる。これにより従来実験では、本観測を開始して初めて可能になる実験感度の評価を実験室で実行でき、結果を元にして詳細な観測計画(スキャンスピード、観測する空の領域)を前もって決定する事が可能になる。これは1000個以上の多数の検出器を要しBモード偏光の発見がかかる次世代実験では非常に重要となる。

## 3. 研究の方法

CMB偏光観測に用いる観測機器の精密校正のための基準偏光源の開発では、観測サイトでの輻射環境(~10K)を再現する為に、機械式冷凍機を用いて下図の様な、輻射源と冷却機構を一体化した偏光源を開発する。

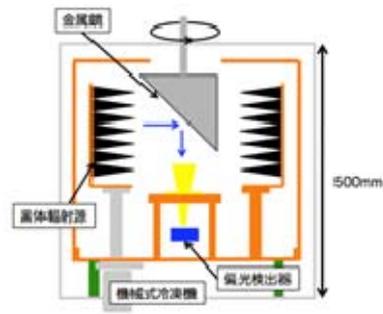


図:開発した基準偏光源の断面図。

輻射源(エコソープ)から発生する黒体輻射は中央に設置した金属鏡で反射する際に偏光し、それを検出器に入射する。この方法の利点は、偏光の発生方法が単純なため、強度を以下の式で精度よく計算する事ができる事である。

$$= 2\sqrt{16\pi\nu\rho\varepsilon_0 \tan(\beta)}(T_{\text{mirror}} - T_{\text{load}})$$

ここで、 $\nu$ は観測する周波数、 $\rho$ は金属鏡の反射率、 $\beta$ は反射角、 $T_{\text{mirror}}$ ,  $T_{\text{load}}$ は金属鏡及び輻射源の温度である。

また、鏡を回転する事で偏光の方向を変える事ができ、検出器に入射する信号に変調をかける事ができる。回転周波数に対応する信号を取り出すことにより、検出器の偏光波に対する感度をより精度よく評価する事ができる。この偏光源を開発し、実際にCMB観測に用いる検出器(本研究ではQUIET実験で用いる検出器を用いる)を用いて原理検証を行う。

原始重力波起源のBモード偏光探索に関しては、QUIET実験に於いて本研究で開発する基準源と似たシステム(輻射環境はサイトを再現していない)を用いて調整した検出器を用いて行う。

## 4. 研究成果

上述の、観測サイトの輻射環境を再現し、偏光特性が精度よく制御された、基準偏光源の開発に成功した。さらにシステムの基本特性をQUIET検出器を用いて評価し、Bモード偏光を探索する為に十分な精度で検出器を校正できる事を示した。開発の状況及び原理検証の結果は、論文に纏めず既に公表している(雑誌論文①)。下図はQUIET検出器と本システムを用いて取得した偏光カーブであり、実験室にしながら観測サイトでの輻射環境下で偏光を観測した世界初の結果である。本システムはQUIET実験以外の検出器にも応用でき、これから広く他実験での使用(例えばPOLARBEAR実験)が期待できる。

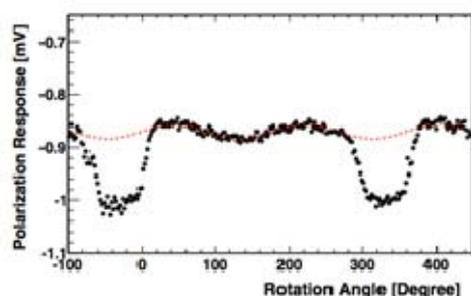


図: QUIET 検出器と本研究で開発したシステムを用いて取得した偏光カーブ(40~240度の領域で期待されるカーブ(赤の破線)と同じ出力が得られている)。このデータを用いた検出器の較正精度はBモード探索に十分である。

QUIET 実験で取得した 43GHz 帯域のデータを用いて原始重力波起源の Bモード探索を行い、発見には至らなかったものの Bモードの偏光強度に関して世界最高レベルの上限値を与えた( $r < 2.2$  95%CL)。結果は論文に纏めてジャーナル誌に投稿し、すでに公開されている(雑誌論文②)。今後はデータ収集を終えた 95GHz 帯域のデータと合わせて、より精度の高い Bモード偏光探索を行う。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 著者: M. Nagai, K. Ichidoshiro, T. Higuchi, M. Ikeno, M. Hasegawa, M. Hazumi, O. Tajima, M. Tanaka, T. Uchida  
論文表題: “Ethernet-Based DAQ system for QUIET-II Detectors”  
雑誌名: Journal of Low Temperature Physics, 169. 689-694 (2012)  
査読の有無: 有
- ② 著者: M. Hasegawa, O. Tajima, Y. Chinone, M. Hazumi, K. Ishidoshiro, M. Nagai  
論文表題: “Calibration System with Cryogenically-Cooled Loads for CMB Polarization Detectors”  
雑誌名: Rev. Sci. Instrum. 82. 054501 (2011)  
査読の有無: 有
- ③ 著者: QUIET Collaboration: C. Bischoff, A. Brizius, I. Buder, Y. Chinone, K. Cleary, R. N. Dumoulin, A. Kusaka, R. Monsalve, S. K. Nass,

L. B. Newburgh, R. Reeves, K. M. Smith, I. K. Wehus, J. A. Zuntz, J. T. L. Zwart, L. Bronfman, R. Bustos, S. E. Church, C. Dickinson, H. K. Eriksen, P. G. Ferreira, T. Gaier, J. O. Gundersen, M. Hasegawa, M. Hazumi, K. M. Huffenberger, M. E. Jones, P. Kangaslahti, D. J. Kapner, C. R. Lawrence, M. Limon, J. May, J. J. McMahon, A. D. Miller, H. Nguyen, G. W. Nixon, T. J. Pearson, L. Piccirillo, S. J. E. Radford, A. C. S. Readhead, J. L. Richards, D. Samtleben, M. Seiffert, M. C. Shepherd, S. T. Staggs, O. Tajima, K. L. Thompson, K. Vanderlinde, R. Williamson, B. Windtejn

論文表題: “First Season QUIET Observations: Measurements of CMB Polarization Power Spectra at 43 GHz in the Multipole Range  $25 \leq \ell \leq 475$ ”

雑誌名: The Astrophysics Journal, 741. 111 (2011)

査読の有無: 有

[学会発表] (計8件)

- ① 発表者: 長谷川雅也  
発表表題: “QUIET 実験: Null 復調データを用いた Wバンドデータ解析の現状”  
学会名: 日本天文学会  
発表年月日: 2011年9月22日  
発表場所: 鹿児島大学
- ② 発表者: 長谷川雅也  
発表表題: “Calibration System with Cryogenically-Cooled Loads for CMB Polarization detectors”  
国際学会名: 14<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors  
発表年月日: 2011年8月1日 ~ 8月5日  
発表場所: ハイデルベルク(ドイツ)
- ③ 発表者: 長谷川雅也  
発表表題: “Calibration System with Cryogenically-Cooled Loads for QUIET-II Detectors”  
国際学会名: Technology and Instrumentation in Particle Physics in 2011  
発表年月日: 2011年6月9日 ~ 6月14日  
発表場所: シカゴ(米国)
- ④ 発表者: 長谷川雅也  
発表表題: “QUIET Phase-II に向けた偏光検出器開発の現状”  
学会名: 日本物理学会

発表年月日：2011年3月25日  
発表場所：新潟大学(震災のため、講演予稿集を持って発表となす。)

- ⑤ 発表者：長谷川雅也  
発表表題：“QUIET 実験の初期観測結果  
(4) -データ解析:時系列データの処理と  
マップ作成-”  
学会名：日本天文学会  
発表年月日：2011年3月18日  
発表場所：筑波大学(震災のため、講演予稿集を持って発表となす。)
- ⑥ 発表者：長谷川雅也  
発表表題：“QUIET-II に向けた偏光検出器テストシステムの開発”  
学会名：日本物理学会  
発表年月日：2010年9月13日  
発表場所：九州工業大学
- ⑦ 発表者：長谷川雅也  
発表表題：“QUIET 実験における 2008 年-2009 年の CMB 偏光観測”  
学会名：日本物理学会  
発表年月日：2010年3月20日  
発表場所：岡山大学
- ⑧ 発表者：長谷川雅也  
発表表題：“QUIET 実験 W バンド観測の現状報告”  
学会名：日本物理学会  
発表年月日：2009年9月13日  
発表場所：甲南大学

[その他]

ホームページ等

<http://cmb.kek.jp>

<http://cbr.kek.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

長谷川 雅也 (HASEGAWA MASAYA)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教  
研究者番号：60435617

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし